

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-331380

(43) 公開日 平成6年(1994)12月2日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 C 21/24				
B 6 4 G 3/00		7331-3D		

審査請求 未請求 請求項の数 4 F D (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平5-145633

(22) 出願日 平成5年(1993)5月25日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72) 発明者 橋間 正芳

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 小林 隆夫

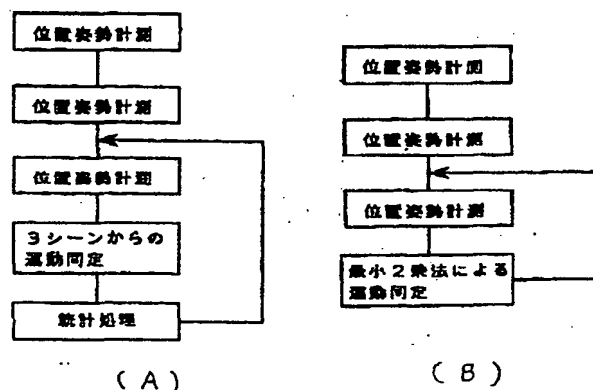
(54) 【発明の名称】 物体の運動同定方法および運動同定装置

(57) 【要約】

【目的】 空間を運動している物体の運動情報を計測する運動同定方法と運動同定装置に関するものであり、より信頼性の高い運動同定を行えるようにすることを目的とする。

【構成】 等速直線運動、等角速度運動をしている物体の運動を同定する方法であって、物体を撮影してその撮影画像からその物体の位置姿勢を計測する処理を少なくとも4以上の時系列な時刻点で行い、該4以上の時刻点のうちから任意の3時刻点の組合せを選択してその3時刻点の位置姿勢データに基づいて物体の運動パラメータを求め、該任意の3時刻点の組合せを逐次に変えて複数の運動パラメータを得て、それら複数の運動パラメータに基づいて該運動パラメータの誤差を抑圧することを特徴とするものである。

本発明に係る原理説明図



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 等速直線運動、等角速度運動をしている物体の運動を同定する方法であって、

物体を撮影してその撮影画像からその物体の位置姿勢を計測する処理を少なくとも4以上の時系列な時刻点で行い、

該4以上の時刻点のうちから任意の3時刻点の組合せを選択してその3時刻点の位置姿勢データに基づいて物体の運動パラメータを求め、

該任意の3時刻点の組合せを逐次に変えて複数の運動パラメータを得て、それら複数の運動パラメータに基づいて該運動パラメータの誤差を抑圧することを特徴とする物体の運動同定方法。

【請求項2】 等速直線運動、等角速度運動をしている物体の運動を同定する方法であって、

物体を撮影してその撮影画像からその物体の位置姿勢を計測する処理を少なくとも4以上の時系列な時刻点で行い、

該4以上の時刻点の位置姿勢データについて最小自乗法を適用して運動パラメータを求めることを特徴とする物体の運動同定方法。

【請求項3】 等速直線運動、等角速度運動をしている物体の運動を同定する方法であって、

物体を撮影してその撮影画像からその物体の位置姿勢を計測する処理を少なくとも4以上の時系列な時刻点で行い、

該4以上の時刻点の位置姿勢データについてカルマンフィルタを適用して運動パラメータを求めることを特徴とする物体の運動同定方法。

【請求項4】 等速直線運動、等角速度運動をしている物体の運動を同定する運動同定装置であって、

物体を撮影してその撮影画像からその物体の位置姿勢を計測する処理を少なくとも4以上の時系列な時刻点で行う位置姿勢計測装置(101)と、

該位置姿勢計測装置で得た4以上の時刻点の位置姿勢データに基づいて、任意に選択した3時刻点の位置姿勢データの組合せによる運動同定、4以上の時刻点の位置姿勢データについての最小自乗法による運動同定、または4以上の時刻点の位置姿勢データについてのカルマンフィルタによる運動同定を用いて誤差を抑圧しつつ運動パラメータを求める演算処理装置(102)とを備えた物体の運動同定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、空間を運動している物体の運動情報を計測する運動同定方法と運動同定装置に関するものである。

【0002】例えば宇宙空間を浮遊している人工衛星を回収するため、それを捕獲する作業を宇宙ロボット等に行わせることが考えられる。このため、無人の宇宙ロボ

2

ットが自律的に人工衛星に接近してそれを捕獲できるように、その人工衛星の位置姿勢等の運動情報を計測し運動を同定することが必要とされる。

【0003】

【従来の技術】空間を運動する物体の運動を同定する方法として、例えば本出願人は次の方法を先に提案している。すなわち、人工衛星等の運動物体に取り付けられたターゲットマークの位置姿勢を計測し、その位置姿勢のデータを3つの時刻についてそれぞれ得て、それらに基づいて物体の運動情報を算出するものである。以下、この方法について詳説する。

【0004】図6に示すように、空間を等速直線運動かつ等角速度運動している物体について、3つの時刻 i 、 $(i+1)$ 、 $(i+2)$ において物体に付されたターゲットマークを撮影して、各時刻の撮影データから各時刻におけるターゲットマークの位置姿勢を計測する。これらの3時刻における位置姿勢データから座標変換行列によって物体の並進速度 v 、物体の回転軸の方向 k および回転角 ω を座標変換行列によって求めることにより、物体の位置姿勢および速度を同定する。

【0005】図7には装置構成が示される。図示のように、運動物体としての人工衛星10にその位置姿勢を認識するためのターゲットマーク11を取り付け、その下に捕獲用の被把持棒13を設ける。人工衛星10を捕獲する宇宙ロボット30に捕獲用のアーム31と外界撮影用のカメラ20を取り付け、カメラ20で撮影した画像データを画像処理装置40で処理し、その処理データに基づいて演算処理装置50で各運動情報を演算して、それに基づいてロボット制御装置60でアーム30を制御する。

【0006】人工衛星10はその中心軸12回りに一定の角速度で回転しながら、矢印14で示す方向に一定速度 v で並進運動している。

【0007】一方、人工衛星10を捕獲するロボット30のアーム31の先端には把持棒13を把持する把持装置32が取り付けられる。アーム31に固定されたカメラ20は一定間隔の時刻毎にターゲットマーク11を撮影し、その各シーンの画像データを画像処理装置40に送る。画像処理装置40はこの画像データを画像処理してターゲットマーク11の位置姿勢を認識する。この認識処理を3つの時刻 i 、 $(i+1)$ 、 $(i+2)$ の各シーンについて行う。演算処理装置50はこの3時刻について求めたターゲットマークの位置姿勢データに基づき、人工衛星10の位置姿勢および移動速度 v 、回転速度 ω 等の運動情報を求めて物体の運動を同定し、これをロボット制御装置60に送る。

【0008】ロボット制御装置60はこれらの運動情報からアーム31の方向、すなわちカメラ20がターゲットマーク11を追跡できるように、宇宙ロボット30を制御し、さらに把持装置31によって把持棒13を把持

50

3

できるよう制御する。

【0009】次にターゲットマーク11の位置姿勢から人工衛星の運動を同定するアルゴリズムについて説明する。図8に人工衛星の運動を同定するための座標系を示す。基準座標系を C_0 (O , x , y , z)とする。この基準座標系は一般にはカメラ20の位置に置かれる。また基準座標系 C_0 に対するターゲットマーク11の座標系を C_R (O^R , x^R , y^R , z^R)とする。このター

$$T = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & t_x \\ n_y & O_y & a_y & t_y \\ n_z & O_z & a_z & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0011】この T はターゲットマーク11の位置姿勢を表している。また、この行列 T の中の要素からなる次

$$T' = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x \\ n_y & O_y & a_y \\ n_z & O_z & a_z \end{bmatrix}$$

【0012】ターゲットマーク座標系 C_R の座標軸 X^R , Y^R , Z^R の単位方向ベクトルは、基準座標系 C_0 に対してそれぞれ $[n_x, n_y, n_z]$ 、 $[O_x, O_y, O_z]$ 、 $[a_x, a_y, a_z]$ で表される。このように、行列 T' は基準座標系 C_0 の単位方向ベクトル $[1, 0, 0]$ 、 $[0, 1, 0]$ 、 $[0, 0, 1]$ をそ

$$R_T = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & 0 \\ n_y & O_y & a_y & 0 \\ n_z & O_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0014】また、行列 T の第4列の

$$t = [t_x, t_y, t_z, 1]^T$$

は基準座標系 C_0 からみた座標系 C_R の原点 O^R の位置（すなわちターゲットマーク11の位置）を示す。なお、同次座標では3次元の位置ベクトルは4つの要素で表され、最後の要素はスケール因子である。また、この

$$U_T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0016】また、以上の座標変換行列から、

$$T = U_T \cdot R_T$$

となり、 T は座標変換も表していることが分かる。このような同次座標では、位置姿勢、座標系、並びに座標変換は同じ形で表現される。

【0017】次に、人工衛星10の回転軸12の座標系 C_q を設定する。この座標系 C_q は回転軸12上の任意の位置に設定できるが、本例では、ターゲットマーク座標系 C_R の原点 O^R から回転軸12に下ろした垂線と回

4

*ゲットマーク座標系 C_R は同次座標で次式(1)により表される。なお、以下の説明において、

$$= \begin{bmatrix} \quad & \quad & \quad \\ \quad & \quad & \quad \\ \quad & \quad & \quad \end{bmatrix}$$

の記号は行列を表すものとする。

【0010】

... (1)

※式(2)の行列 T' は座標系 C_R の姿勢、つまりターゲットマーク11の姿勢を表している。

... (2)

20 ★それぞれ $[n_x, n_y, n_z]$ 、 $[O_x, O_y, O_z]$ 、 $[a_x, a_y, a_z]$ に回転変換した姿勢を示している。また同時にこの回転変換も表している。この回転変換は同次座標で次式(3)により表すことができる。

【0013】

... (3)

★位置 t は基準座標系 C_0 の原点 O からターゲットマーク座標系 C_R の原点 O^R までの並進変換の変位ベクトルを表しており、この並進変換は同次座標で次式(4)で表される。

【0015】

... (4)

回転軸12が交わる点を原点 Q とし、回転軸12の座標系 C_q の姿勢がターゲットマーク11の姿勢と同じになるようにする。つまり、ターゲットマーク座標系 C_R からみた原点 Q の位置ベクトルを、

$$m = [m_x, m_y, m_z, 1]^T$$

とすると、ターゲットマーク座標系 C_R からみた回転軸12の座標系 C_q は次式(5)で表すことができる。

【0018】

5

$$M = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & m_x \\ 0 & 1 & 0 & m_y \\ 0 & 0 & 1 & m_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

6

... (5)

【0019】なお、回転軸12はターゲットマーク座標系 C_R からみて一定であるので、 m_x 、 m_y 、 m_z は定数である。また、基準座標系 C_0 からみた原点 Q の位置ベクトルを、

$$G = \begin{vmatrix} n_x & O_x & a_x & g_x \\ n_y & O_y & a_y & g_y \\ n_z & O_z & a_z & g_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$*g = [g_x, g_y, g_z, 1]^T$$

とすると、基準座標系 C_0 からみた回転軸の座標系 C_q は次式(6)で表すことができる。

【0020】

... (6)

【0021】ここで、式(5)の M はターゲットマーク座標系 C_R に対する回転軸12の座標系 C_q への座標変

$$G = T \cdot M$$

という関係が成り立つ。また、式(1)の位置成分のみをみると、 g (基準座標系 C_0 からみた原点 Q の位置ベ

$$g = T \cdot m$$

という関係式が成り立つ。

【0022】次に人工衛星10の運動を図6を参照して説明する。人工衛星10のターゲットマーク11の位置姿勢は一定時間間隔の各時刻のシーンについてそれぞれ計測するものとする。ここでシーンの番号を i として、☆

$$iG = iT \cdot M$$

$$ig = iT \cdot m$$

となる。

【0023】ここで、人工衛星10の運動は、等速直線運動かつ等角速度運動と仮定しているのので、人工衛星10は、サンプリング時間あたりに、回転軸12の回りにある角度 ω だけ回転し、かつ一定量 v だけ並進移動する。よって、対象物の運動は回転変換と並進変換で記述◆

※換であるので、3つの座標系 C_0 、 C_R 、 C_q には、

... (7)

★クトル)と m (ターゲットマーク座標系 C_R からみた原点 Q の位置ベクトル)には、

... (8)

☆ i 番目のシーンのターゲットマーク11および回転軸12の座標系をそれぞれ iT 、 iG と表す。同様に、原点 Q および位置ベクトル g はそれぞれのシーンで iQ 、 ig と表す。したがって、式(7)、式(8)はそれぞれ、

... (9)

... (10)

◆できる。原点を通り、単位方向ベクトル $k = [k_x, k_y, k_z]$ の直線回りに角度 ω だけ回転する回転変換 R は次式(11)で表すことができる。

【0024】

【数1】

$$R = \begin{bmatrix} k_x^2 \text{vers} \omega + \cos \omega & k_x k_y \text{vers} \omega - k_z \sin \omega & k_x k_z \text{vers} \omega + k_y \sin \omega & 0 \\ k_x k_y \text{vers} \omega + k_z \sin \omega & k_y^2 \text{vers} \omega + \cos \omega & k_y k_z \text{vers} \omega - k_x \sin \omega & 0 \\ k_x k_z \text{vers} \omega - k_y \sin \omega & k_y k_z \text{vers} \omega + k_x \sin \omega & k_z^2 \text{vers} \omega + \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{vers} \omega = 1 - \cos \omega$$

(11)

【0025】また、変位ベクトル $v = [v_x, v_y, v_z]$ の並進変換 U は次式(12)で表すことができる。

【0026】

7

$$U = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & v_x \\ 0 & 1 & 0 & v_y \\ 0 & 0 & 1 & v_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

【0027】ここでは、基準座標系 C_0 に対する人工衛星10の運動情報を求めたいので、人工衛星10の回転軸12の単位方向ベクトル k と変位ベクトル v を基準座標系 C_0 に対して設定し、回転変換、並進変換も基準座

$${}^{i+1}G = U \cdot {}^iD \cdot R \cdot {}^iD^{-1} \cdot {}^iG$$

となる。ここで iD は基準座標系 C_0 の原点 O から回転軸12の座標系 C_q の座標原点 Q への並進変換を表し ※

$${}^iD = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & {}^ig_1 \\ 0 & 1 & 0 & {}^ig_2 \\ 0 & 0 & 1 & {}^ig_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

【0029】つまり、回転軸12の座標系 C_q を回転変換するのに、回転軸12を基準座標系 C_0 の原点 O を通るように並進変換している。それから回転変換し、元の位置に戻し、並進変換している。なお、ある座標系を基

$${}^{i+1}T = U \cdot {}^iD \cdot R \cdot {}^iD^{-1} \cdot {}^iT$$

となる。

【0030】次に運動の同定について述べる。連続する3つのシーンにおけるターゲットマーク11の位置姿勢 ☆

$${}^1T = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

【0032】

$${}^2T = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

【0033】

$${}^3T = \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

【0034】まず、回転成分を求める。回転成分 R^R は ◆

$${}^{i+1}TR = R^R \cdot {}^iT$$

となる。これに 1T 、 2T を代入して R^R を求める

$$R^R = {}^2TR \cdot ({}^1TR)^{-1}$$

となる。この R^R は次式(21)で表わされる。

8

... (12)

* 標系 C_0 に対して行う。そして、人工衛星10の運動として回転軸12を考えると、回転軸12の座標系 iG と一定時間後の ${}^{i+1}G$ との関係は、

... (13)

※ており、次式(14)で表される。

【0028】

... (14)

★ 準座標系 C_0 に対して変換するとき、変換行列を座標行列の左からかければよい。また式(9)、式(13)より、 iT と ${}^{i+1}T$ との関係は、

... (15)

☆を 1T 、 2T 、 3T とし、次の式(16)、式(17)、式(18)で与えられるものとする。

【0031】

... (16)

... (17)

... (18)

◆ 2シーンの姿勢成分から求められる。すなわち、

... (19)

と、

... (20)

【0035】

9

$$R^1 = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{vmatrix}$$

10

... (21)

【0036】回転軸12の単位方向ベクトル k の各成分 k_x, k_y, k_z とサンプリング時間当たりの回転角 ω *は式(11)の右辺と比較して次のように求められる。

【0037】

$$\sin \omega = \{(r_{32} - r_{23})^2 + (r_{13} - r_{31})^2 + (r_{21} - r_{12})^2\}^{1/2} / 2 \quad \dots (22)$$

$$\cos \omega = (r_{11} + r_{22} + r_{33} - 1) / 2 \quad \dots (23)$$

$$\omega = \text{atan2}(\sin \omega, \cos \omega) \quad \dots (24)$$

【0038】

$$\begin{aligned} k_x &= (r_{23} - r_{32}) / 2 \sin \omega \\ k_y &= (r_{13} - r_{31}) / 2 \sin \omega \\ k_z &= (r_{21} - r_{12}) / 2 \sin \omega \end{aligned} \quad \dots (25)$$

【0039】すなわち、(24)式により回転軸12の回転角 ω が、また式(25)により回転軸12の方向ベクトル k の各成分 k_x, k_y, k_z が与えられる。これによって、運動の回転成分が求められることになる。 ※

$$i g - i^1 g = i^1 g - i^2 g \quad \dots (26)$$

という関係が成り立つ。これに式(10)を代入して、

$$(i T - 2 \cdot i^1 T + i^2 T) m = 0 \quad \dots (27)$$

となる。

★すると、次式(28)が得られる。

【0041】この式(27)に $i T, i^2 T, i^3 T$ を代入 ★

$$\begin{aligned} (a_{j1} - 2 b_{j1} + c_{j1}) m_x + (a_{j2} - 2 b_{j2} + c_{j2}) m_y \\ + (a_{j3} - 2 b_{j3} + c_{j3}) m_z + (a_{j4} - 2 b_{j4} + c_{j4}) = 0 \end{aligned} \quad \dots (28)$$

但し、 $j = 1, 2, 3$

【0042】これから、 m_x, m_y, m_z に関する3つの方程式ができる。このうち一つは冗長であるが、これは式(26)が回転軸12上の全ての点に対して成り立つためである。本例では、 m_x, m_y, m_z を決めるた ★

$$i p = i g \perp k \quad \dots (29)$$

が成り立ち、これに式(10)を代入すると、

$$(i p + i T \cdot m) k = 0 \quad \dots (30)$$

となる。

◆(31)が得られる。

【0043】この式(30)に $i T$ を代入すれば、次式 ◆

$$\begin{aligned} (a_{11} k_x + a_{21} k_y + a_{31} k_z) m_x + (a_{12} k_x + a_{22} k_y + a_{32} k_z) m_y \\ + (a_{13} k_x + a_{23} k_y + a_{33} k_z) m_z = 0 \end{aligned} \quad \dots (31)$$

【0044】これから、式(28)、式(31)より m 40 ので、並進成分 v は次式(32)から求められる。が求められる。この m と式(10)より g が求められる

$$v = i^1 g - i g \quad \dots (32)$$

【0045】以上によって回転成分および並進成分が求まり、人工衛星10の運動が同定できる。

【0046】

【発明が解決しようとする課題】上述の運動同定方法では、物体の運動パラメータを3時刻の位置姿勢データから算出しているが、各時刻で計測される位置姿勢データには誤差が含まれており、よって3時刻のデータだけでは冗長性がなく、計算される運動パラメータは誤差の影 50

響を受け、信頼性の低い運動同定となってしまう。

【0047】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、より信頼性の高い運動同定を行えるようにすることにある。

【0048】

【課題を解決するための手段】図1、図2は本発明に係る原理説明図である。本発明の物体の運動同定方法は、図1の(A)に示されるように、一つの形態として、等

11

速直線運動、等角速度運動をしている物体の運動を同定する方法であって、物体を撮影してその撮影画像からその物体の位置姿勢を計測する処理を少なくとも4以上の時系列な時刻点で行い、該4以上の時刻点のうちから任意の3時刻点の組合せを選択してその3時刻点の位置姿勢データに基づいて物体の運動パラメータを求め、該任意の3時刻点の組合せを逐次に変えて複数の運動パラメータを得て、それら複数の運動パラメータに基づいて該運動パラメータの誤差を抑圧することを特徴とするものである。

【0049】また本発明の物体の運動同定方法は、図1の(B)に示されるように、他の形態として、等速直線運動、等角速度運動をしている物体の運動を同定する方法であって、物体を撮影してその撮影画像からその物体の位置姿勢を計測する処理を少なくとも4以上の時系列な時刻点で行い、該4以上の時刻点の位置姿勢データについて最小自乗法を適用して運動パラメータを求めることを特徴とするものである。

【0050】また本発明の物体の運動同定方法は、図2の(A)に示されるように、また他の形態として、等速直線運動、等角速度運動をしている物体の運動を同定する方法であって、物体を撮影してその撮影画像からその物体の位置姿勢を計測する処理を少なくとも4以上の時系列な時刻点で行い、該4以上の時刻点の位置姿勢データについてカルマンフィルタを適用して運動パラメータを求めることを特徴とするものである。

【0051】また本発明の物体の運動同定方法は、図2の(B)に示されるように、等速直線運動、等角速度運動をしている物体の運動を同定する運動同定装置であって、物体を撮影してその撮影画像からその物体の位置姿勢を計測する処理を少なくとも4以上の時系列な時刻点で行う位置姿勢計測装置101と、位置姿勢計測装置101で得た4以上の時刻点の位置姿勢データに基づいて、任意に選択した3時刻点の位置姿勢データの組合せによる運動同定、4以上の時刻点の位置姿勢データについての最小自乗法による運動同定、または4以上の時刻点の位置姿勢データについてのカルマンフィルタによる運動同定を用いて誤差を抑圧しつつ運動パラメータを求める演算処理装置102とを備えたものである。

【0052】

【作用】まず最初の運動同定方法について説明すると、運動同定は3シーンの位置姿勢データから計算できるが、いま、4シーン以上の位置姿勢データが計測できた場合には、運動同定を行うための3シーンの組合せが複

$$T = \begin{vmatrix} n_1 & O_1 & a_1 & t_1 \\ n_r & O_r & a_r & t_r \\ n_s & O_s & a_s & t_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

【0060】と表す。この行列の中で、

12

*数組できる。これらの各組合せについてそれぞれ運動同定を行えば、複数の運動パラメータが求められるので、それらを平均するなど統計処理することにより、誤差を抑圧して、より精度の高い運動同定ができる。

【0053】また2番目の運動同定方法においては、4シーン以上の位置姿勢データが得られたとき、物体が等速直線運動、等角速度運動をするという条件で、並進速度、回転速度等の運動パラメータの誤差の自乗を最小にすることができる。

10 【0054】また3番目の運動同定方法においては、4シーン以上の位置姿勢データが得られたとき、カルマンフィルタを使って、その時系列のデータから逐次的に運動パラメータを推定し、誤差を減らすことができる。

【0055】また上述の方法を行う本発明の運動同定装置は、位置姿勢計測装置101によって物体またはその一部分の位置姿勢を時系列データとして得て、これをインタフェースを介して演算処理装置102に与える。4以上の時刻点の位置姿勢データが得られたら、演算処理装置102により、3シーンの組合せ、最小自乗法、あるいはカルマンフィルタにより物体の運動同定を行う。

【0056】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する図3には本発明の運動同定方法を適用できるモデルの実施例が示される。この実施例では運動同定する対象の物体として人工衛星が用いられている。この物体10は等速直線運動かつ等角速度運動をしており、物体10には位置姿勢計測用のターゲットマーク11が取り付けられている。またターゲットマーク11をカメラ20で計測することにより、カメラ20からターゲットマーク11までの位置 t と姿勢 T' が求まる。さらにこの位置姿勢データの時系列から物体10の運動パラメータ（例えば物体の回転軸の方向、回転速度、並進速度など）を求める。

40 【0057】図4にはこのモデル例の座標系が示される。物体10が等速直線運動かつ等角速度運動しているという仮定より、ターゲットマーク11はある一つの回転軸12回りに等角速度運動し、この回転軸12が等速直線運動している。そして、ターゲットマーク11の位置姿勢 T から回転軸の方向、位置および回転速度、並びに並進速度を求める。

【0058】前述のように、基準座標系に対するターゲットマーク11の位置姿勢 T を同次座標表現で、

【0059】

... (41)

13

$$T' = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x \\ n_y & O_y & a_y \\ n_z & O_z & a_z \end{bmatrix}$$

【0061】は姿勢を、また

$$t = [t_x, t_y, t_z, 1]^T$$

は位置を表す。ターゲットマーク11の位置姿勢Tは一定のサンプリング時間で計測され、i番目に計測されたターゲットマーク11の位置姿勢を ${}^i T$ とし、同様に位置t、姿勢 T' についても、 ${}^i t$ 、 ${}^i T'$ と表す。

【0062】回転軸12の位置は、ターゲットマーク座標系から見れば一定の位置にあり、いまターゲットマーク11から回転軸12に下ろした垂線の足を計算上の重心Q（回転軸の座標系の原点）とする。ターゲットマーク座標系および基準座標系に対するこの重心Qの位置をそれぞれm、gとし、

$$m = [m_x, m_y, m_z, 1]^T$$

$$g = [g_x, g_y, g_z, 1]^T$$

$${}^{i+1} T' = R' \cdot {}^i T'$$

となる。ここで、Rは回転を表す行列で、これを

【0065】

$$R' = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

【0066】とすれば、これより回転軸の報告ベクトル※

$$\sin \omega = [(r_{32} - r_{23})^2 + (r_{13} - r_{31})^2 + (r_{21} - r_{12})^2]^{1/2} / 2$$

$$\cos \omega = (r_{11} + r_{22} + r_{33} - 1) / 2$$

$$\omega = \text{atan2}(\sin \omega, \cos \omega)$$

$$k_x = (r_{23} - r_{32}) / 2 \sin \omega$$

$$k_y = (r_{13} - r_{31}) / 2 \sin \omega$$

$$k_z = (r_{21} - r_{12}) / 2 \sin \omega$$

【0068】並進成分は回転軸の位置の変化から求められる。回転軸上にある重心Qが等速直線運動をしている★

$${}^i g - {}^{i+1} g = {}^{i+1} g - {}^{i+2} g = v$$

という関係が成り立つ。ここで、vはサンプリング時間当たりの重心Qの移動量を表す。この式(44)に前述★

$$({}^i T - 2 {}^{i+1} T + {}^{i+2} T) m = 0$$

となり、 m_x 、 m_y 、 m_z の関する連立方程式となるが、この式(45)は回転軸上の全ての点について成り立つ。そこで、式(42)の関係をを用いることにより、ターゲットマーク座標系における重心Qの位置mが決定でき、式(44)より重心Qの移動量vが求められる。

【0069】以上により、3シーンの位置姿勢データから運動パラメータを求めることができる。そして、n(>3)シーンの位置姿勢データが得られたとすると、まず位置姿勢データ ${}^0 T$ 、 ${}^1 T$ 、 ${}^2 T$ から運動同定して、運動パラメータ ${}^0 k$ 、 ${}^0 \omega$ 、 ${}^0 m$ 、 ${}^0 v$ が求められる。次に、位置姿勢データ ${}^1 T$ 、 ${}^2 T$ 、 ${}^3 T$ から運動同定して、運動パラメータ ${}^1 k$ 、 ${}^1 \omega$ 、 ${}^1 m$ 、 ${}^1 v$ が求められる。同様にして、運動パラメータ ${}^{n-3} k$ 、 ${}^{n-3} \omega$ 、 ${}^{n-3} m$ 、 ${}^{n-3} v$ まで(n-2)個のパラメータが求められる。これらを平均することにより、精度の良いパラメータを得ることができる。

*とする。

【0063】このとき、i番目の重心Qの位置 ${}^i g$ は、 ${}^i g = {}^i T \cdot m$

と表せる。また、基準座標系に対する回転軸の方向ベクトルを、

$$k = [k_x, k_y, k_z, 1]^T$$

とすると、

$${}^i t = {}^i g \perp k$$

と記述できる。

【0064】以上の関係を用いて物体の運動パラメータを推定する。物体の運動パラメータは回転成分と並進成分に分けられる。回転成分はターゲットマーク11の姿勢の変化から求められ、

$$\dots (43)$$

※kとサンプリング時間当たりの回転角 ω が次のようにして求められる。

【0067】

★ことにより、

$$\dots (44)$$

☆の式(41)を代入して、

$$\dots (45)$$

図5には上述の運動同定を行う運動同定装置の構成例が示される。図中、20は運動物体を撮影するカメラ、21はカメラ20で撮影した画像を画像処理により特徴抽出する画像処理装置、22は特徴抽出した画像に基づいてターゲットマークの位置姿勢を演算する位置姿勢演算装置、23は位置姿勢演算装置22で演算した複数の位置姿勢データに基づいて物体の運動パラメータを演算する運動同定演算装置、24はホストCPU、25は一定間隔のサンプリング時刻等を発生するためのタイマである。

15

【0071】この装置では、運動を測定したい対象の物体に付けられたターゲットマーク11をカメラ20で撮影し、この撮影画像を画像処理装置21で画像処理により特徴抽出し、特徴抽出されたターゲットマークのデータに基づいて位置姿勢演算装置22で物体の位置姿勢を計算し、さらにこの位置姿勢計測を、タイマ25で発生した一定サンプリング時間おきに行い、それにより得られた複数の位置姿勢データに基づいて運動同定演算装置23で物体の運動パラメータを求める。

【0072】本発明の実施にあたっては種々の変形形態が可能である。例えば上述の実施例は物体の運動パラメータを複数シーンの物体の位置姿勢データから演算で求めるものであったが、本発明はこれに限られるものではない *

$$J\theta = \sum (\theta_i - \theta')^2 \quad \text{但し、}\Sigma \text{は } i=0 \text{ から } (n-2) \text{ までの積分} \quad \dots (46)$$

$$Jg = \sum (g_i - g')^2 \quad \text{但し、}\Sigma \text{は } i=0 \text{ から } (n-2) \text{ までの積分} \quad \dots (47)$$

ここで、

$$\theta' = \omega_i + \theta_0 \quad \dots (48)$$

$$g' = v_i + g_0 \quad \dots (49)$$

である。最小自乗法を用いて運動パラメータを求めるためには、公知の最小自乗法の計算アルゴリズムを用いて、上述の $J\theta$ 、 Jg を最小にするような ω 、 θ_0 、 v 、 g_0 を決めればよい。

【0075】次にカルマンフィルタを用いる変形例の方法について説明する。カルマンフィルタは系の構造が既知であるときにその状態変数を観測値からオンラインで推定する方法である。このカルマンフィルタを用いた方法では、カルマンフィルタにより多数の位置姿勢データから運動パラメータを推定する。すなわち、4シーン以 ※30

$$x_{i+1} = Ax_i + \Gamma w_i \quad \dots (50)$$

$$y_i = f(x_i) + v \quad \dots (51)$$

とする。いま、重心が等速直線運動かつ等角速度運動するという条件から、

【0077】

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta t & 0 \\ & & & & & & I_3 \\ & & & & & 1 & \Delta t \\ 0 & & & & & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

【0078】

$$\Gamma = \begin{pmatrix} 0_3 & & 0 \\ & I_3 & \\ & & 0_7 \\ 0 & & & 1 \end{pmatrix}$$

【0079】となる。また、 $f(x)$ についても、

【0080】

16

*なく、例えば最小自乗法あるいはカルマンフィルタを用いて運動パラメータを求めることも可能である。以下、これらの変形例について説明する。

【0073】まず、最小自乗法を用いる変形例の方法について説明する。この変形例の方法は、3シーン以上の位置姿勢データが得られときに、最小自乗法により物体の運動パラメータを推定するものである。この最小自乗法を用いる方法では、前述の実施例と同じ座標系を用いており、回転速度と並進速度をそれぞれ精度よく求めるために、次のような評価関数を作る。なお、この式中の θ はターゲットマークの姿勢を表し、 i はシーン番号を表す。

【0074】

※上の位置姿勢データが得られたとき、カルマンフィルタを使ってその時系列のデータから逐次的に運動パラメータを推定し、誤差を減らしていく。

【0076】以下、このカルマンフィルタを用いる方法を詳しく述べる。いま状態変数 x 、観測値 y をそれぞれ、

$$x = [g_x, g_y, g_z, v_x, v_y, v_z, m_x, m_y, m_z, k_x, k_y, k_z, \theta, \omega]^T$$

$$y = [t_x, t_y, t_z, k_x, k_y, k_z, \theta]^T$$

とし、状態方程式を、

$$\dots (50)$$

$$\dots (51)$$

$$f(x) = \begin{pmatrix} g_x - b_x(k, \theta, m) \\ g_y - b_y(k, \theta, m) \\ g_z - b_z(k, \theta, m) \\ k_x \\ k_y \\ k_z \\ \theta \end{pmatrix}$$

40 【0081】と記述できる。ただし、 $b(\quad)$ は重心からターゲットマークまでの位置を表す関数である。

【0082】ここで、 w_i 、 v はそれぞれシステムノイズと観測ノイズであり、平均値、分散が、

17

$$\begin{aligned} \varepsilon \{w_i\} &= 0 \\ \varepsilon \{w_i w_j^T\} &= W \quad (i=j) \quad \text{または} \quad 0 \quad (i \neq j) \end{aligned} \quad \dots (52)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon \{v_i\} &= 0 \\ \varepsilon \{v_i v_j^T\} &= V \quad (i=j) \quad \text{または} \quad 0 \quad (i \neq j) \end{aligned} \quad \dots (53)$$

を満たす互いに独立なガウス白色雑音である。共分散行列 W 、 V はそれぞれ半正定値、正定値行列である。ここ * 【0083】 また、これらの雑音は、

$$\begin{aligned} \varepsilon \{x_0\} &= x_0^* \\ \varepsilon \{(x_0 - x_0^*)(x_0 - x_0^*)^T\} &= \Sigma_0 \end{aligned} \quad \dots (54)$$

を満たす初期状態 x_0 とも独立であり、 Σ_0 は正定値行列であるとする。 ※ データ y_0, y_1, \dots, y_{i-1} に基づくその推定値 \underline{x}_i との差のノルムの期待値

【0084】 このとき、時刻 i における状態 x_i と観測 $J_i = \varepsilon \{ |x_i - \underline{x}_i|^2 \}$... (55)

を最小にする最適推定値は、次のフィルタで与えられる。 ★ 【0085】

$$\underline{x}_{i+1} = A \underline{x}_i + K_i (y_i - C_i \underline{x}_i) \quad \dots (56)$$

ただし、

$$C_i = \delta f(x_i) / \delta x \quad \dots (57)$$

$$W = \Gamma W \Gamma^T \quad \dots (58)$$

$$K_i = A \Sigma_i C_i^T (W + C_i \Sigma_i C_i^T)^{-1} C_i \Sigma_i A^T \quad \dots (59)$$

$$\begin{aligned} \Sigma_{i+1} &= V + A \Sigma_i A^T \\ &\quad - A \Sigma_i C_i^T (W + C_i \Sigma_i C_i^T)^{-1} C_i \Sigma_i A^T \end{aligned} \quad \dots (60)$$

【0086】 フィルタのゲイン K_i は初期状態の Σ_0 と式 (59)、式 (60) を用いて逐次に計算できる

【0087】

【発明の効果】 以上に説明したように、本発明によれば、より信頼性の高い運動同定を行えるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る原理説明図である。

【図2】 本発明に係る原理説明図である。

【図3】 本発明の一実施例としての運動同定方法を行うモデルの例を示す図である。

【図4】 モデル例に適用する座標系を説明する図である。

【図5】 実施例方法を行う装置の構成例を示す図である。

【図6】 3シーンから人工衛星の運動を同定する方法を説明する図である。

【図7】 人工衛星の運動を同定するための座標系を説明する図である。

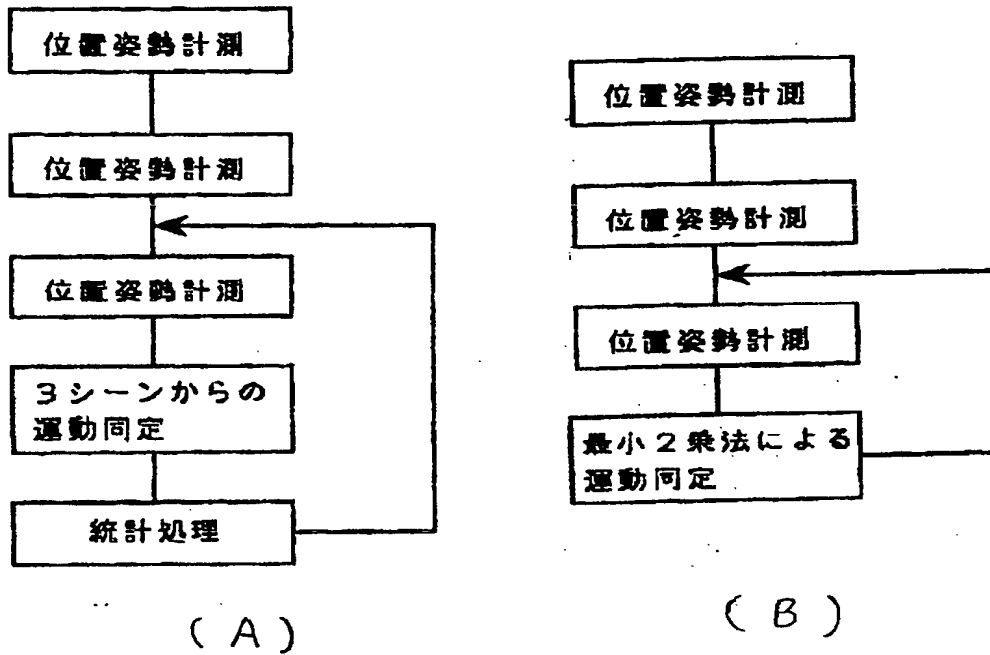
【図8】 運動同定装置の構成例を示す図である。

【符号の説明】

- 10 人工衛星
- 11 ターゲットマーク
- 12 回転軸
- 13 被把持棒
- 20 カメラ
- 21 画像処理装置
- 22 位置姿勢演算装置
- 23 運動同定演算装置
- 24 ホストCPU
- 25 タイマ
- 30 ロボット
- 31 アーム
- 32 把持装置
- 40 画像処理装置
- 50 演算処理装置
- 60 ロボット制御装置

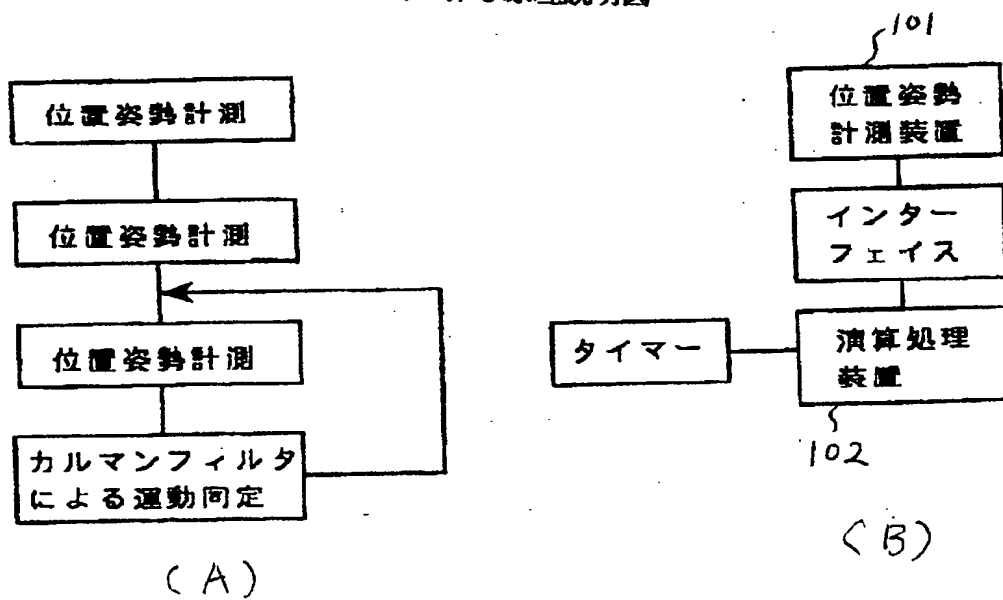
【図1】

本発明に係る原理説明図



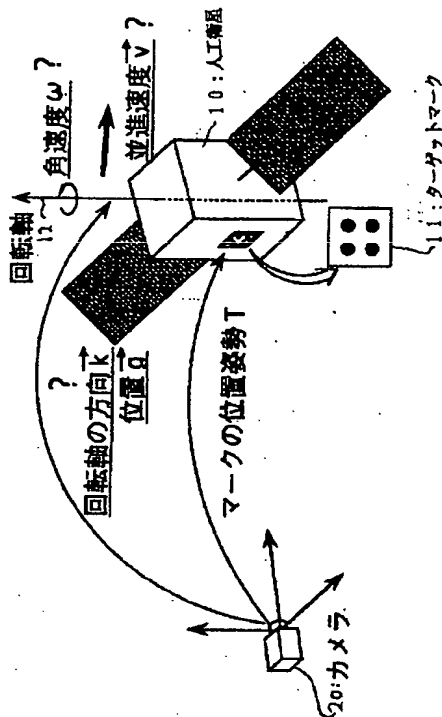
【図2】

本発明に係る原理説明図



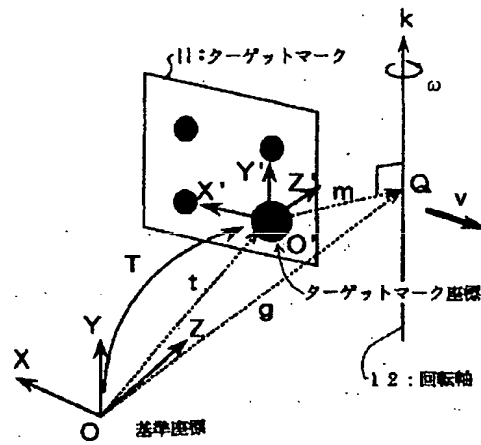
【図3】

本発明の運動同定方法を行うモデルの実施例



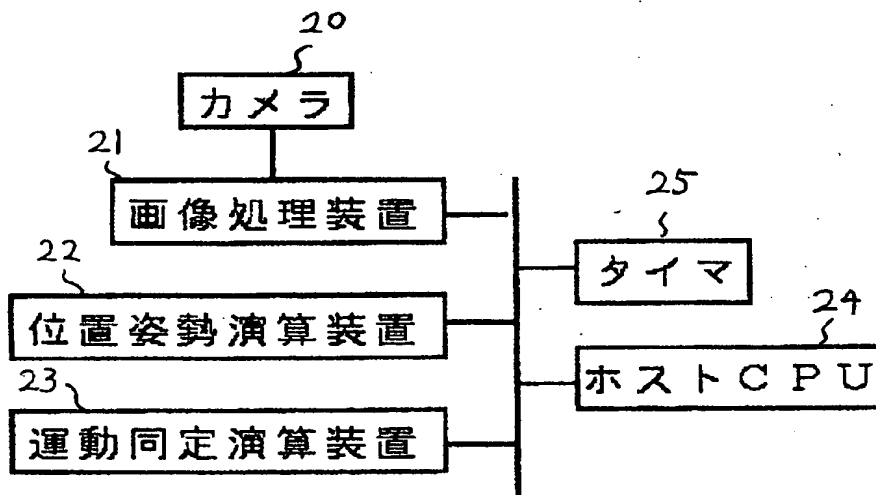
【図4】

実施例の座標系を示す図



【図5】

運動同定装置の実施例



【図8】

運動同定装置の全体の構成

